

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-1-88-96>

УДК 581.5:546.11.027*3:539.16 (574.41)

ИЗУЧЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И СОДЕРЖАНИЯ В НЕМ ТРИТИЯ НА ОБЪЕКТЕ «ЛАЗУРИТ» СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Н.В. Ларионова¹⁾, П.Е. Кривицкий¹⁾, Б.М. Султанова²⁾, В.В. Полевик³⁾, Л.В. Тимонова¹⁾, С.Б. Субботин¹⁾, Л.Ф. Субботина¹⁾, М.Т. Абишева¹⁾, В.Н. Монаенко¹⁾, А.В. Топорова¹⁾, А.О. Айдарханов¹⁾

¹⁾ Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

²⁾ Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан

³⁾ НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан

E-mail для контактов: laronova@nnc.kz

В статье представлена характеристика растительного покрова объекта «Лазурит», в том числе содержание в нем радионуклида трития (^3H): в свободной воде растений (ТСВ) и их органической составляющей (ОСТ). Выделено 5 основных типов экосистем: экосистемы низкогорий, высоких мелкосопочников, низких мелкосопочников, делювиально-пролювиальных и аллювиальных равнин. Установлено, что содержание ОСТ в растительном покрове на исследуемой территории незначительно и в абсолютном большинстве случаев находится ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения. Установленные количественные значения ТСВ и ОСТ в среднем составляют от 6 до 81 Бк/кг и от <10 до 37 Бк/кг, соответственно, с максимумом близ приустевой площадки скважины Р-1 (ТСВ – 29000 ± 3000 Бк/кг, ОСТ – 14000 ± 2000 Бк/кг). При этом отношение ОСТ/ТСВ (0,8) указывает на наличие современного источника поступления ^3H в растения.

Ключевые слова: СИП, растительный покров, тритий (^3H).

ВВЕДЕНИЕ

Тритий (^3H) радиоактивный изотоп водорода с массовым числом 3, чистый β -излучатель с периодом полураспада 12,4 года, образуется в верхних слоях атмосферы в результате взаимодействия космического излучения с ядрами атомов азота, кислорода, аргона и др., а также в литосфере и гидросфере при взаимодействии нейтронов с литием земной коры [1]. В настоящее время в окружающей среде присутствует ^3H как естественного, так и искусственного происхождения. С началом проведения ядерных и термоядерных испытаний в атмосферу Земли было введено количество ^3H более чем в 60–190 раз превысившее его естественный уровень [2]. Значительная доля ^3H наработана во время проведения ядерных испытаний на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП).

Работы по изучению ^3H на СИП на сегодняшний день охватывают различные объекты окружающей среды. Так, ^3H был исследован как индикатор мест проведения ядерных испытаний [3] и для оценки загрязнения грунтовых вод по его содержанию в растительном покрове [4], отдельные исследования были посвящены содержанию ^3H в воздухе [5], почвах [6–9], растительном покрове и растениеводческой продукции [10–11], а также был исследован вопрос влияния ^3H на морфо-анатомическую структуру растений [12]. Несмотря на многочисленность проведенных исследований, территория СИП с точки зрения ^3H , до сих пор представляет собой особый интерес, так как его концентрации на отдельных участках превышают

уровень радиоактивных отходов. Целью данного исследования стало изучение растительного покрова, а также содержания в нем радионуклида ^3H на территории объекта «Лазурит», как интегрального показателя его наличия в сопряженных природных средах на данной территории.

Взрыв «Лазурит» в скважине Р-1, произведенный 07.12.1974 г. на СИП в урочище Муржик близ границы площадки «Сары-Узень» (Рисунок 1) стал вторым и последним взрывом на вспучивание грунта. Ядерный заряд мощностью 1,7 кт был размещен на склоне горы крутизной 20° в породах кварцита и кремнистых сланцев. Заложен заряд был на глубине 75 м по вертикали, что соответствовало расстоянию 70 м от поверхности склона. Целью эксперимента «Лазурит» было вспучивание почвы с последующим соскальзыванием образовавшегося купола вниз и образованием плотины. После взрыва образовался куполообразный навал раздробленной породы с диаметром в основании 200 м и высотой 14 м. Уровни радиации в момент и после проведения этого взрыва были в 30–40 раз ниже, чем при взрывах на выброс грунта. В настоящее время уровни гамма-излучения на навале грунта и вблизи него не превышают фоновых значений. Р1 объекта «Лазурит» – скважина без поверхностного радиоактивного загрязнения и относится к испытаниям, в результате которых весь массив продуктов взрыва остается под землей [13]. Целостная информация о наличии на территории данного объекта радионуклида ^3H отсутствует.

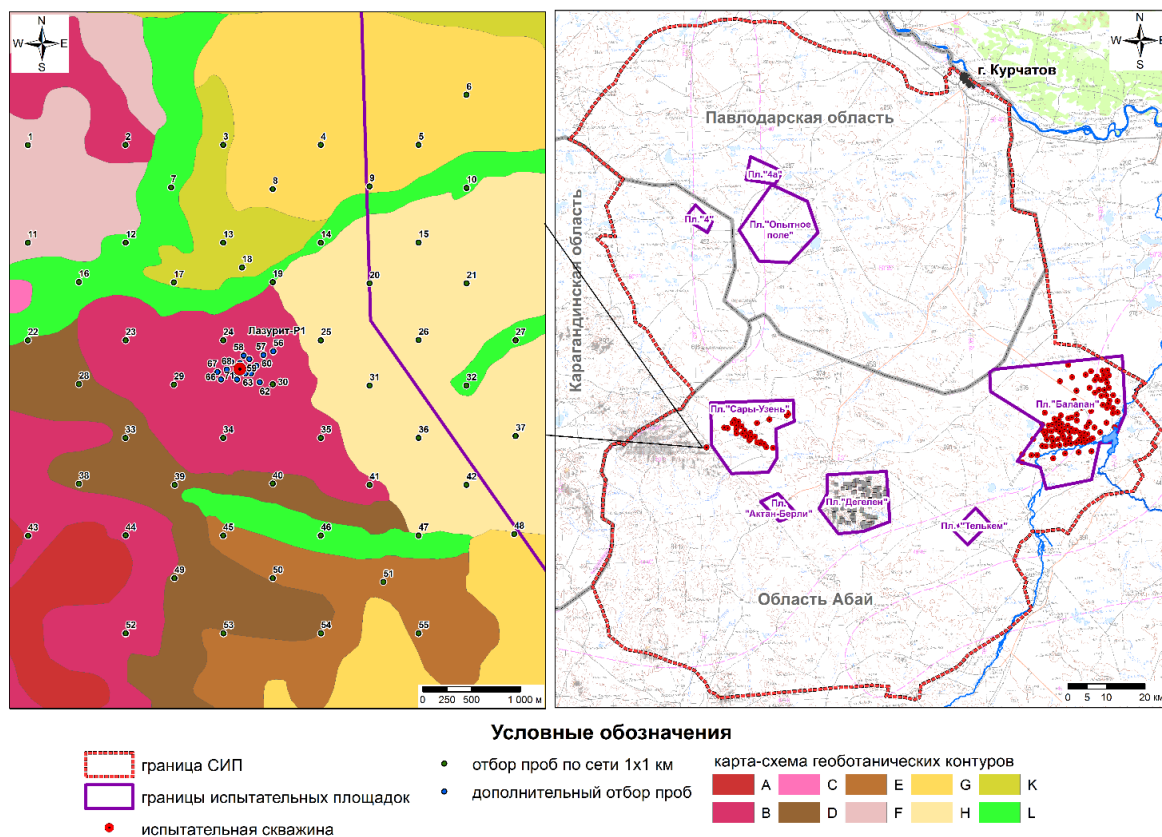


Рисунок 1. Расположение объекта «Лазурит» на территории СИП, точки отбора проб растений и распределение геоботанических контуров

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки пространственного распределения ^3H в растительном покрове объекта «Лазурит» было заложено 55 исследовательских площадок по сети 1×1 км (точки отбора проб №№ 1-55). Для более детального исследования территории, непосредственно прилегающей к скважине P1 объекта «Лазурит», 17 площадок (точки №№ 56–72) было дополнительно заложено близ ее оголовка с учетом элементов рельефа – в низинах, на склонах (рисунок 1). Измерения радиационных параметров – плотности потока β -частиц и мощности эквивалентной дозы (МЭД) – необходимые для первичной оценки наличия радиоактивного загрязнения на исследуемой территории, выполнялись при проведении экспедиционных работ в соответствии со стандартными методиками [14]. Изучение растительного покрова исследуемой территории проводилось посредством геоботанического описания с выделением основных типов растительности, растительных сообществ и видового состава растений [15]. В качестве основного исследуемого вида растений выбрана полынь (*Artemisia gracilescens*), в случае ее отсутствия отобран ковыль (*Stipa capillata*). Отбор 55 проб растений по сети 1×1 км проводился в ранний весенний период (начало марта), отбиралась наземная часть прошлого вегетационного периода. Отбор 17 проб проводился на основании результатов анализа, полученных для данных 55

проб растений, с учетом элементов рельефа в летний период (конец июня), отбирался прирост текущего года. Всего отобрано 72 пробы растений. Масса каждой пробы составляла 200–300 г. Все образцы растительности были запечатаны в двойные полиэтиленовые пакеты (чтобы свести к минимуму контакт между образцом и окружающим воздухом) и затем заморожены.

Содержание радионуклида ^3H в растениях определялось в свободной воде (ТСВ) и органической составляющей (ОСТ). Выделение свободной воды из растительных образцов для измерения активности ТСВ производили посредством специальной установки [16]. Для этого образцы растений помещались на дно специального прозрачного контейнера, имеющего крышку в виде охлаждающего сосуда. В качестве охлаждающей жидкости использовалась холодная вода. При естественном испарении воды обратная сторона поверхности крышки охлаждалась, что позволяло собрать испарившуюся из проб растительности влагу (свободную воду), которая по своей сути является конденсатом. При этом объем конденсата в среднем составлял 10–15 мл. Свободная вода была получена только для 17 проб растений прироста текущего года. После извлечения свободной воды пробы высушивали до постоянной массы и сжигали на установке «Sample Oxidizer» PerkinElmer, США. Масса сжигаемого образца составляла 1–2 г.



Рисунок 2. Объект «Лазурит» (фото Р.А. Нефедова)

В полученных образцах измеряли удельную активность ^3H методом жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии с использованием спектрометра «QUANTULUS 1220» (Perkin Elmer, США) [17]. Предварительно перед измерением пробы фильтровали для удаления механических примесей, затем отбирали аликвоту объемом 3 мл в пластиковую вials объемом 20 мл и добавляли сцинтилляционный коктейль Ultima Gold LLT для природных образцов (эффективность регистрации для ^3H в диапазоне 0–18 кэВ порядка 60%) в пропорции 1:4 (отношение «образец – сцинтиллятор»). Время измерения составляло не менее 120 мин, обработку бета-спектров и расчёт удельной активности ^3H проводили с использованием программы «Quanta Smart».

Для создания схем распределения ^3H в растительном покрове применялся программный комплекс ArcGIS for Desktop (ГИС-платформа). Для визуализации точечных данных использовался метод представления значками с применением цветовой дифференциации, построенной по принципу равномерного распределения. Цветовая дифференциация была подобрана таким образом, чтобы все оттенки цветов в полной мере характеризовали отображаемое явление: от светлых тонов (светло-зеленых), которые символизируют низкие значения удельной активности ^3H в растительном покрове, до темных тонов (темно-красный и фиолетовый), которые отмечают высокие значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Измерения радиометрических параметров показали, что плотность потока β -частиц на исследуемой территории составляет $<0,10$ част/(мин·см²), мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на поверхности почвы в среднем варьирует в пределах от 0,10 до 0,12 мкЗв/ч.

Исследуемая территория представляет собой участок низкогогорного массива Муржик (рисунок 2). Пространственное распределение и флористический состав сообществ тесно связан с конкретными условиями среды. Всего на исследуемой территории выделено 5 основных экосистем: экосистемы низкогогорий – А, В, С, экосистемы высоких мелкопочвенников – D, Е, экосистемы низких мелкопочвенников – F, экосистемы делювиально-пролювиальных равнин – G, H и экосистемы аллювиальных равнин – K, L (рисунок 1).

Экосистемы низкогогорий представлены серией сообществ: петрофитноразнотравных (*Orostachys spinosa*, *Sedum hybridum*, *Patrinia intermedia*, *Gypsophila patrinii*, *Veronica pinnata*, *Potentilla acaulis*, *A Artemisia obtusiloba*, *A. latifolia*) в трещинах с мелкоземом; петрофитнокустарниковых (*Rosa spinosissima*, *Spiraea trilobata*, *Lonicera microphylla*, *Cotoneaster melanocarpa*, *Pentaphylloides parvifolia*, *Berberis sibirica*) на древеснистых участках гранитных плит; можжевельниковых (*Juniperus sabina*) на крупнокаменистых осыпях на склонах гребней хребтов. Также совокупностью серий сообществ: разнотравно-осоково-злаковых (*Helictotrichon desertorum*, *Stipa kirghisorum*, *Festuca valesiaca*, *Carex pediformis*, *Thalictrum foetidum*, *Bupleurum aureum*, *Chamaerodos erecta*, *Pulsatilla patens*) на малоразвитых сильно щебнистых каштановых почвах северных склонов хребтов; злаково-разнотравных (*Fragaria viridis*, *Onosma simplicissimum*, *Dianthus acicularis*, *Silene suffrutescens*, *Hieracium echioides*, *Papaver tenellum*, *Veronica spuria*, *Artemisia latifolia*, *A. rupestris*, *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*, *Agropyron cristatum*) с участием кустарников (*Spiraea trilobata*, *S. hypericifolia*, *Caragana pumila*, *Lonicera microphylla*) на малоразвитых сильно щебнистых каштановых почвах южных склонов хребтов; в сочетании с серией: петрофитноразнотравно-кустарнико-

вых (*Pentaphylloides floribunda*, *Rosa spinosissima*, *Spiraea trilobata*, *Cotoneaster oliganthus*, *Berberis sibirica*, *Artemisia obtusiloba*, *Orostachys spinosa*, *Ziziphora clinopodioides*, *Thymus serpyllum*, *Gypsophila patrinii*) и можжевельников (*Juniperus sabina*), сообществ на выходах гранитных плит; группировок с доминированием *Festuca valesiaca*, *Stipa kirghisorum*, *Cleistogenes squarrosa*, *Carex pediformis*, *Artemisia frigida*, *Artemisia latifolia*, *Thymus serpyllum*, *Ziziphora clinopodioides*, *Veronica incana*, *Ephedra distachya* на нарушенных участках. А также серией сообществ: кустарниково-полынно-петрофитноразнотравных (*Potentilla acaulis*, *Patrinia intermedia*, *Orostachys spinosa*, *Sedum hybridum*, *Gypsophila patrinii*, *Artemisia frigida*, *A. obtusiloba*, *Caragana pumila*, *Spiraea hypericifolia*) на каменистых обнажениях; осоково-караганово-холоднополынно-дерновиннозлаковых (*Festuca valesiaca*, *Helictotrichon desertorum*, *Cleistogenes squarrosa*, *Artemisia frigida*, *Caragana pumila*, *Carex pediformis*) на дресвянистых участках; полынно-типчаково-ковыльных (*Stipa capillata*, *S. kirghisorum*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia marshalliana*, *A. frigida*) с участием кустарников (*Caragana pumila*, *Spiraea hypericifolia*) и разнотравья (*Galium verum*, *Phlomis tuberosa*, *Leonurus glaucescens*, *Dianthus leptopetalis*) на неполноразвитых щебнистых каштановых почвах по склонам хребтов.

Экосистемы высоких мелкосопочников представлены серией сообществ: петрофитноразнотравно-кустарниковых *Caragana pumila*, *C. frutex*, *Spiraea hypericifolia*, *Atraphaxis frutescens*, *Orostachys spinosa*, *Sedum hybridum*, *Ephedra distachya*, *Ajania fruticulosa* по каменистым обнажениям, злаково-петрофитноразнотравных (*Gypsophila patrinii*, *Goniolimon speciosum*, *Onosma tinctorum*, *Veronica incana*, *Hyssopus macranthus*, *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*, *Koeleria cristata*) на дресвянистых участках, караганово-типчаково-холоднополынных (*Artemisia frigida*, *Festuca valesiaca*, *Caragana pumila*) на сильно щебнистых участках вершин и склонов пологоувалистого мелкосопочника, единичными растениями и разреженными группировками с доминированием *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*, *Stipa capillata*, *Caragana pumila*, *C. frutex*, *Hyssopus macranthus*, *Thymus serpyllum*, *Onosma tinctorum*, *Veronica incana*, *Goniolimon speciosum*, *Ephedra distachya*, *Artemisia scoparia*, *A. Dracunculus*, *Berteroia incana* на нарушенных участках. А также группой сообществ на защебненных каштановых почвах склонов и шлейфов пологоувалистого мелкосопочника: полынно-типчаково-тырсовых (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia frigida*, *A. Marshalliana*) с участием *Caragana pumila*, *Spiraea hypericifolia*; кустарниково-полынно-дерновиннозлаковых (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia frigida*, *A. marshalliana*, *Caragana pumila*, *Spiraea hypericifolia*) с участием *Phlomis tuberosa*, *Galium ruthenicum*, *Gypsophila paniculata*; полынно-типчаково-тырсовых (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*,

Artemisia frigida, *A. marshalliana*), иногда с участием *Ceratoides papposa*; группировок с *Artemisia austriaca*, *Eringium planum*, *Gypsophila paniculata*, *Acroptylon repens*, *Chenopodium urbicum*, *Psathyrostachis juncea*, *Ceratocarpus arenarius* на нарушенных участках.

Экосистемы низких мелкосопочников представлены серией сообществ: петрофитных (*Orostachys spinosa*, *Patrinia intermedia*, *Potentilla acaulis*, *Veronica pinnata*) на выходах коренных пород, компактнополынно-типчаково-ковылково-тырсовых (*Stipa capillata*, *S. lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia compacta*) на светло-каштановых щебнистых неполноразвитых почвах, полынно-типчаково-тырсыковых (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia gracilescens*, *A. compacta*) на светло-каштановых щебнистых почвах в комплексе: тасбиюргуново-биюргуново-полынными (*Artemisia gracilescens*, *A. pauciflora*, *Anabasis salsa*, *Nanophyton erinaceum*) с участием *Limonium suffruticosum* на светло-каштановых солонцеватых почвах проценозы с доминированием *Artemisia albida*, *A. nitrosa*, *Bassia sedoides*, *Axyris hybrida*, *Salsola collina*, *Halogeton glomeratus* на нарушенных участках.

Экосистемы делювиально-пролювиальных равнин включают группы сообществ: холоднополынно-типчаково-тырсовых (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia frigida*, *Galatella tatarica*, *Ephedra distachya*) степи, иногда с участием караганы (*Caragana pumila*) и таволги (*Spiraea hypericifolia*) на каштановых щебнистых почвах обширных межсочных равнин; маршалловополынно-типчаково-тырсовых (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia marshalliana*); ковылково-типчаково-маршалловополынных (*Artemisia marshalliana*, *A. austriaca*, *Festuca valesiaca*, *Stipa lessingiana*, *S. capillata*, *Koeleria cristata*, *Hultemia persica*) на легкосуглинистых светло-каштановых почвах иногда в комплексе тонковатополынно-типчаково-тырсовых (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia gracilescens*) с участием *Anabasis salsa*, *Nanophyton erinaceum* на светло-каштановых солонцеватых почвах обширных межсочных равнин и проценозы с доминированием *Leymus paboanus*, *Artemisia austriaca*, *Psathyrostachis juncea*, *Thlaspi arvense*, *Lepidium ruderales*, *Polygonum aviculare*, *Kochia scoparia*, *Chenopodium acuminatum*, *Ch. album* на нарушенных участках.

Экосистемы аллювиальных равнин включают древнеаллювиальные и современные аллювиальные. Древнеаллювиальные равнины: сублессингианово-полынно-типчаково-ковыльные (*Stipa lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia sublessingiana*) степи на карбонатных светло-каштановых почвах, иногда в комплексе ломкоколосниково-тонковатополынными (*Artemisia gracilescens*, *Psathyrostachis juncea*) на солонцеватых светло-каштановых почвах древнеаллювиальной равнины. Экосистемы современных аллювиальных равнин включают ряд сообществ: рогозово-клубнекамышевых (*Bolboschoenus planiculmis*, *Ty-*

pha laxmannii) → сытево-камышевых (*Cyperus fuscus*, *Scirpus lacustris*) → разнотравно-тростниковых (*Phragmites australis*, *Lactuca tatarica*, *Glaux maritima*) → гигрофитноразнотравных (*Crypsis aculeata*, *Juncus gerardii*, *Eleocharis acicularis*, *Brachyactis ciliata*, *Chenopodium rubrum*) → подорожничково-однолетнесолянковых (*Salicornia europaea*, *Suaeda prostrata*, *Chenopodium botrys*, *Plantago tenuiflora*, *P. Maritima*) → разнотравно-тростниковых (*Phragmites australis*, *Lactuca tatarica*, *Saussurea amara*) → галофитных разнотравно-злаковых (*Aeluropus litoralis*, *Puccinellia dolicholepis*, *Limonium gmelinii*, *Erigeron canadensis*) → разнотравно-злаковых (*Hordeum brevisubulatum*, *Leymus angustus*, *Inula caspica*, *Glycyrrhiza uralensis*) → чингилово-чиевых (*Achnatherum splendens*, *Halimodendron halodendron*), → камфоросомово-кокпековых (*Atriplex cana*, *Camphorosma monspeliaca*).

Содержание ОСТ в растениях, отобранных в ранний весенний период по сети 1×1 км, представлено в таблице.

Таблица. Содержание ОСТ в растительном покрове объекта «Лазурит»

Точка отбора	Удельная активность ^3H , кБк/кг	Точка отбора	Удельная активность ^3H , кБк/кг
1	<0,02	29	<0,02
2	<0,03	30	<0,08
3	<0,05	31	0,02±0,003
4	<0,02	32	<0,02
5	<0,02	33	<0,02
6	<0,02	34	<0,02
7	<0,02	35	<0,03
8	<0,02	36	<0,02
9	0,02±0,003	37	<0,03
10	<0,02	38	<0,02
11	<0,02	39	<0,02
12	<0,02	40	<0,02
13	<0,02	41	<0,02
14	<0,03	42	<0,03
15	<0,05	43	<0,03
16	<0,02	44	<0,03
17	<0,02	45	<0,03
18	<0,02	46	<0,02
19	<0,02	47	<0,02
20	<0,03	48	<0,02
21	<0,02	49	<0,02
22	<0,02	50	<0,01
23	<0,02	51	<0,03
24	<0,04	52	<0,02
25	<0,02	53	<0,02
26	<0,03	54	<0,03
27	<0,02	55	<0,02
28	<0,02		

Как видно из таблицы, содержание ОСТ в растительном покрове на территории объекта «Лазурит» оказалось ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения.

Количественные значения удельной активности ^3H в растительном покрове установлены лишь в непосредственной близости от скважины Р-1 для экосистем низкогорий с преобладанием разнотравно-осоково-злаковых и злаково-разнотравных растительных сообществ на малоразвитых сильно щебнистых каштановых почвах в сочетании с петрофитноразнотравно-кустарниковыми и можжевельниковыми сообществами на выходах гранитных плит и с доминированием *Festuca valesiaca*, *Stipa kirghisorum*, *Cleistogenes squarrosa*, *Carex pediformis* и др. на нарушенных участках. На рисунке 3 приведено распределение ТСВ и ОСТ в растительном покрове для 17 точек, расположенных на различном удалении от Р-1 и на разных элементах ландшафта.

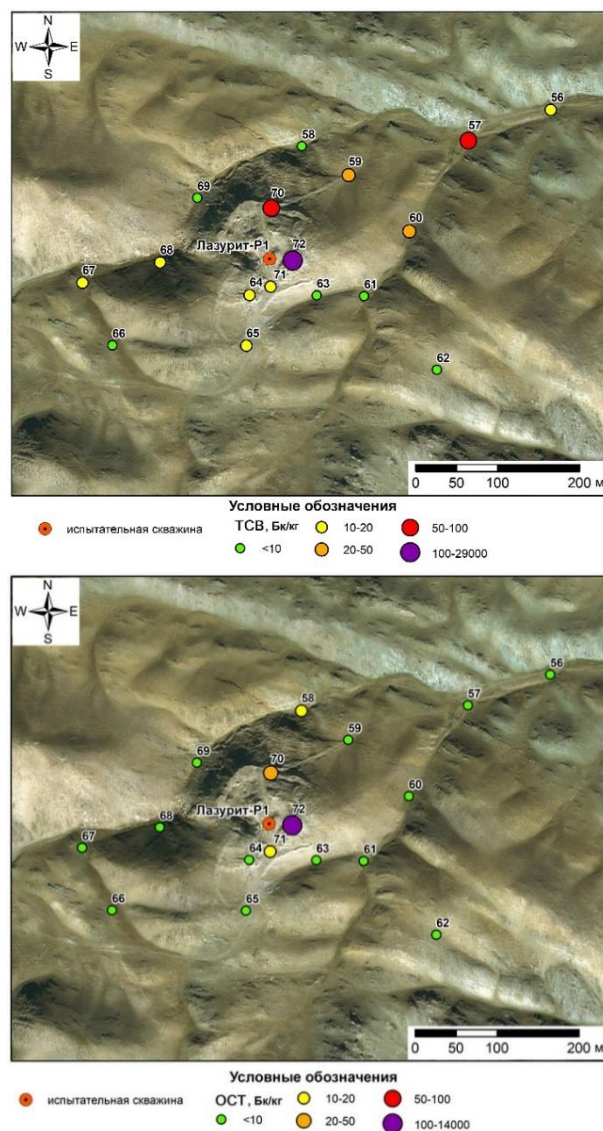


Рисунок 3. Распределение ТСВ и ОСТ в растительном покрове объекта «Лазурит»

На основании проведенного лабораторного анализа в районе скважины Р-1 объекта «Лазурит» (периметр ~ 300 м) количественные значения удельной активности установлены и для ТСВ и для ОСТ. Содержание ТСВ в среднем варьирует от 6 ± 1 до 81 ± 11 Бк/кг, содержание ОСТ – от <10 до 37 ± 9 Бк/кг. При этом максимальная концентрация, как видно из рисунка 3, отмечается близ скважины и для ТСВ достигает 29000 ± 3000 Бк/кг, для ОСТ – 14000 ± 2000 Бк/кг, что значительно выше уровня вмешательства (УВ) по содержанию ^3H в питьевой воде (7600 Бк/кг) [18].

Отношение ОСТ/ТСВ составляет 0,8, что значительно меньше значений, приводимых в литературе – 2-3 [19], но сопоставимо с данными, ранее полученными для территории СИП на площадке «Дегелен» – 0,6 [11]. Данный факт указывает на наличие современного источника поступления ^3H в растения [19], в роли которого, в частности, могут выступать грунтовые воды [4].

Горы Муржик являются областью питания и транзита подземных вод. Проведение подземного ядерного взрыва в скважине Р-1 объекта «Лазурит» привело к существенной деформации массива горных пород с образованием зон дробления и зияющих трещин. В результате чего на данном участке значительно увеличилась проницаемость горных пород, что способствовало усилению нисходящей фильтрации и частичному переводу поверхностного водотока в подземный. Атмосферные осадки и подземные воды на участке взрыва по техногенным трещинам поступают в зоны дробления, где происходит их радиоактивное загрязнение. Основным загрязнителем подземных вод в настоящее время является ^3H [20].

Разность температур на дневной поверхности и на уровне залегания подземных вод способствует образованию тепловой конвекции воздуха, в результате которой тритированная вода в состоянии пара поступает на дневную поверхность, где она сорбируется почвенными частицами и переходит в растения. Причем по концентрации ^3H в растениях можно косвенно судить не только об уровне загрязнения подземных вод ^3H , но и о направлении их движения, на что, в свою очередь, указывает наличие количественных значений удельной активности ТСВ в точках понижений в рельефе №№ 56, 57, 59, 60, расположение которых соответствует северо-восточному направлению движения подземных вод, характерному для данной территории [21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований установлено, что растительный покров территории в районе объекта «Лазурит» включает 5 основных типов экосистем: экосистемы низкогорий, экосистемы высоких мелкосопочников, экосистемы низких мелкосопочников, экосистемы делювиально-пролювиальных равнин и экосистемы аллювиальных равнин. Анализ лабораторных данных показал, что содержание ОСТ в растительном покрове на исследуемой

территории незначительно и в абсолютном большинстве случаев находится ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения. Установленные количественные значения ТСВ и ОСТ в среднем составляют от 6 до 81 Бк/кг и от <10 до 37 Бк/кг, соответственно, и характерны для экосистем низкогорий с максимумом близ приустьевой площадки скважины Р-1: ТСВ – 29000 ± 3000 Бк/кг, ОСТ – 14000 ± 2000 Бк/кг. Отношение ОСТ/ТСВ составляет 0,8, что может указывать на наличие современного источника поступления ^3H в растения. При этом распределение повышенных значений содержания ТСВ соответствуют направлению движения подземных вод, которое для данной территории характеризуется как северо-восточное. Таким образом, растительный покров объекта «Лазурит» отражает пространственное распределение тритиевого загрязнения и может быть использован как один из индикаторов радиационной обстановки при контроле данной территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках научного гранта АР14869391 «Исследование перераспределения трития в основных компонентах степных экосистем аридных условий Казахстана».

ЛИТЕРАТУРА

- Schell, W. R. World distribution of environmental tritium / W. R. Schell, G. Gauzay, W. R. Payne // Physical Behaviour of Radioactive Contaminants in the Atmosphere. / IAEA. – Vienna, 1974. – P. 375.
- Беловодский, Л. Ф. Тритий / Л. Ф. Беловодский, В. К. Гаевой, В. И. Гришмановский. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 247 с.
- Ляхова, О. Н. Тритий как индикатор мест проведения ядерных испытаний / О. Н. Ляхова, С. Н. Лукашенко, Н. В. Ларионова, С. Б. Субботин // Вестник НЯЦ РК. – 2011. – Вып. 3. – С. 125–128.
- Larionova, N. V. Plants as indicators of tritium concentration in ground water at the Semipalatinsk test site / N. V. Larionova, S. N. Lukashenko, O. N. Lyakhova [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 177. – P. 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.06.032>.
- Ляхова, О. Н. Оценка уровня концентрации газообразных соединений трития в местах проведения ядерных испытаний на территории семипалатинского испытательного полигона / О. Н. Ляхова, С. Н. Лукашенко, Н. В. Ларионова [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2020. – Том 60, № 6. – С. 646–657. <https://doi.org/10.31857/S086980312006020X>.
- Тимонова, Л. В. Исследование содержания трития в почве в местах проведения ядерных испытаний на территории Семипалатинского испытательного полигона / Л. В. Тимонова, О. Н. Ляхова, С. Н. Лукашенко [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2015. – Т. 55, № 6. – С. 667–672. <https://doi.org/10.7868/S0869803115050136>.

7. Тимонова, Л. В. Тритиевое загрязнение почвы в местах проведения наземных ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне / Л. В. Тимонова, О. Н. Ляхова, А. О. Айдарханов [и др.] // Радиация и риск. – 2020. – Т. 29, № 4. – С. 106–117. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2020-29-4-106-117>.
8. Timonova, L. V. Tritium distribution in soil in the area of “Atomic” lake near the Semipalatinsk test site / L. V. Timonova, O. N. Lyakhova, S. N. Lukashenko [et al.] // Eurasian Soil Science. – 2020. – Vol. 53. – P. 355–361. <https://doi.org/10.1134/S1064229320030096>.
9. Serzhanova, Z. B. Researching of tritium speciation in soils of “Balapan” site / Z. B. Serzhanova, A. K. Aidarkhanova, S. N. Lukashenko [et al.] // J. Environ. Radioact. – 2018. – Vol. 192. – P. 621–627. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.02.016>.
10. Polivkina, Ye. N. Assessment of tritium uptake by *Helianthus Annuus* culture continuously exposed to HTO at the Semipalatinsk test site / Ye. N. Polivkina, N. V. Larionova, O. N. Lyakhova // Radiation and Risk. – 2020. – Vol. 29, No. 1. – P. 79–89. – Bibliogr.: p. 87. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2020-29-1-79-89>.
11. Polivkina, Ye. N. Assessment of the tritium distribution in the vegetation cover in the areas of underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site / Ye. N. Polivkina, N. V. Larionova, S. N. Lukashenko [et al.] // J. Environ. Radioact. – 2021. – Vol. 237. – 8 p. – Bibliogr.: p. 7–8. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106705>.
12. Янкаускас, А.Б. Влияние трития на морфо-анатомическую структуру растений вида тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) / А. Б. Янкаускас, Н. В. Ларионова, А. Н. Шатров // Радиация и риск. – 2021. – Т. 30, № 2. – С. 133–145. – Библиограф.: с.143. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-2-133-145>.
13. Krivitskiy, P. Ye. Peculiarities of radioactive soil contamination in places of underground nuclear tests in the Semipalatinsk test site / P. Ye. Krivitskiy, N. V. Larionova, V. N. Monayenko [et al.] // J. Environ. Radioact. – 2022. – Vol. 253–254. – 7 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106991>.
14. Инструкция по наземному обследованию радиационной обстановки на загрязненной территории: утв. Межведомственной комиссией по радиационному контролю природной среды при Госкомгидромете СССР. – М., 1989.
15. Полевая геоботаника / Акад. наук СССР. Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова; под общ. ред. Е. М. Лавренко и А. А. Корчагина. – Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1959–1964. – 5 т.
16. Инновационный патент 29721 РК, МПК B01D 3/10, G21F 9/08. Установка для извлечения воды из образцов / Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В., Зарембо В.П. // Электронный бюллетень. Астана, 2015. бюл. № 4. – URL: <http://kz-patents.com/4-ip29721-ustrojstvo-dlya-izvlecheni-ya-vody-iz-obrazcov.html>.
17. Качество воды. Определение объёмной активности трития. Метод подсчёта сцинтилляций в жидкой среде. Международный стандарт ISO 9698:2019. – Астана: «КазИнСт», 2019. – 32 с.
18. Гигиенические нормативы к обеспечению радиационной безопасности: утв. приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от 02 августа 2022 г. № ҚР ДСМ-71.
19. Kim, S.B. Determination of the baseline tritium concentrations (HTO, TFWT and OBT) in soil and plants in Ontario, Canada / Kim S.B., Bredlaw M., Rousselle H., Bond M., Stuart M. // J. Environ. Radioact. – 2021. – Vol. 243(2). – 9 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106810>.
20. Субботин, С.Б. Выявление путей миграции техногенных радионуклидов за пределы испытательной площадки «Балапан» / С. Б. Субботин, С. Н. Лукашенко, В. В. Романенко [и др.] // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана / Ин-т радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2011. – Вып. 3.: Сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г. – Т. 2. – С. 161–232. – Библиогр.: с. 230–231.
21. РБП 036 «Развитие атомных и энергетических проектов» подпрограмма 101 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан», мероприятие 1 «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона»: отчет НТП за 2017 г. (информац./) филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н.; рук. работ Стрильчук Ю.Г. – Курчатов, 2017. – 95 с. – Библиогр.: с. 94–95; 35 назв. – Инв. № о-1246.

REFERENCES

1. Schell, W. R. World distribution of environmental tritium / W. R. Schell, G. Gauzay, W. R. Payne // Physical Behaviour of Radioactive Contaminants in the Atmosphere. / IAEA. – Vienna, 1974. – P. 375.
2. Belovodskiy, L. F. Tritiy / L. F. Belovodskiy, V. K. Gaevoy, V. I. Grishmanovskiy. – Moscow: Energoatomizdat, 1985. – 247 p.
3. Lyakhova, O. N. Tritiy kak indikator mest provedeniya yadernykh ispytaniy / O. N. Lyakhova, S. N. Lukashenko, N. V. Larionova, S. B. Subbotin // Vestnik NYaTs RK. – 2011. – Issue 3. – P. 125–128.
4. Larionova, N. V. Plants as indicators of tritium concentration in ground water at the Semipalatinsk test site / N. V. Larionova, S. N. Lukashenko, O. N. Lyakhova [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 177. – P. 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.06.032>.
5. Lyakhova, O. N. Otsenka urovnya kontsentratsii gazoobraznykh soedineniy tritiya v mestakh provedeniya yadernykh ispytaniy na territorii semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona / O. N. Lyakhova, S. N. Lukashenko, N. V. Larionova [i dr.] // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. – 2020. – Tom 60, No. 6. – P. 646–657. <https://doi.org/10.31857/S086980312006020X>.
6. Timonova, L. V. Issledovanie soderzhaniya tritiya v pochve v mestakh provedeniya yadernykh ispytaniy na territorii Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona / L. V. Timonova, O. N. Lyakhova, S. N. Lukashenko [i dr.] // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. – 2015. – T. 55, No. 6. – P. 667–672. <https://doi.org/10.7868/S0869803115050136>.
7. Timonova, L. V. Tritieoe zagryaznenie pochvy v mestakh provedeniya nazemnykh yadernykh ispytaniy na Semipalatinskoy ispytatel'nom poligone / L. V. Timonova, O. N. Lyakhova, A. O. Aydarkhanov [i dr.] // Radiatsiya i risk. – 2020. – T. 29, No. 4. – P. 106–117. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2020-29-4-106-117>.

8. Timonova, L. V. Tritium distribution in soil in the area of "Atomic" lake near the Semipalatinsk test site / L. V. Timonova, O. N. Lyakhova, S. N. Lukashenko [et al.] // Eurasian Soil Science. – 2020. – Vol. 53. – P. 355–361. <https://doi.org/10.1134/S1064229320030096>.
9. Serzhanova, Z. B. Researching of tritium speciation in soils of "Balapan" site / Z. B. Serzhanova, A. K. Aidarkhanova, S. N. Lukashenko [et al.] // J. Environ. Radioact. – 2018. – Vol. 192. – P. 621–627. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.02.016>.
10. Polivkina, Ye. N. Assessment of tritium uptake by Helianthus Annuus culture continuously exposed to HTO at the Semipalatinsk test site / Ye. N. Polivkina, N. V. Larionova, O. N. Lyakhova // Radiation and Risk. – 2020. – Vol. 29, No. 1. – P. 79–89. – Bibliogr.: p. 87. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2020-29-1-79-89>.
11. Polivkina, Ye. N. Assessment of the tritium distribution in the vegetation cover in the areas of underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site / Ye. N. Polivkina, N. V. Larionova, S. N. Lukashenko [et al.] // J. Environ. Radioact. – 2021. – Vol. 237. – 8 p. – Bibliogr.: p. 7–8. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106705>.
12. Yankauskas, A.B. Vliyaniye tritiya na morfo-anatomicheskuyu strukturu rasteniy vida trostnik obyknovenny (Phragmites australis) / A. B. Yankauskas, N. V. Larionova, A. N. Shatrov // Radiatsiya i risk. – 2021. – T. 30, No. 2. – P. 133–145. – Bibliograf.: p. 143. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-2-133-145>.
13. Krivitskiy, P. Ye. Peculiarities of radioactive soil contamination in places of underground nuclear tests in the Semipalatinsk test site / P. Ye. Krivitskiy, N. V. Larionova, V. N. Monayenko [et al.] // J. Environ. Radioact. – 2022. – Vol. 253–254. – 7 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106991>.
14. Instruksiya po nazemnomu obsledovaniyu radiatsionnoy obstanovki na zagryaznennoy territorii: utv. Mezhdomstvennoy komissii po radiatsionnomu kontrolyu prirodnoy sredy pri Goskomgidromete SSSR. – Moscow, 1989.
15. Polevaya geobotanika / Akad. nauk SSSR. Botan. in-t im. V. L. Komarova; pod obshch. red. E. M. Lavrenko i A. A. Korchagina. – Moscow; Leningrad: Izd-vo Akad. nauk SSSR, 1959–1964. – 5 t.
16. Innovatsionnyy patent 29721 RK, MPK B01D 3/10, G21F 9/08. Ustanovka dlya izvlecheniya vody iz obraztsov / Lukashenko S.N., Larionova N.V., Zarembo V.P. // Elektronnyy byulleten'. Astana, 2015. byul. No. 4. – URL: <http://kz-patents.com/4-ip29721-ustrojstvo-dlya-izvlecheniya-vody-iz-obrazcov.html>.
17. Kachestvo vody. Opredelenie ob'emnoy aktivnosti tritiya. Metod podscheta stintillyatsiy v zhidkoy srede. Mezhdunarodnyy standart ISO 9698:2019. – Astana: «KazInSt», 2019. – 32 p.
18. Gigenicheskie normativy k obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti: utv. prikazom Ministra zdavookhraneniya Respubliki Kazakhstan ot 02 avgusta 2022 g. No. KR DSM-71.
19. Kim, S.B. Determination of the baseline tritium concentrations (HTO, TFWT and OBT) in soil and plants in Ontario, Canada / Kim S.B., Bredlaw M., Rousselle H., Bond M., Stuart M. // J. Environ. Radioact. – 2021. – Vol. 243(2). – 9 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106810>.
20. Subbotin, S.B. Vyyavlenie putey migratsii tekhnogennykh radionuklidov za predely ispytatel'noy ploshchadki «Balapan» / S. B. Subbotin, S. N. Lukashenko, V. V. Romanenko [i dr.] // Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana / In-t radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii RGP NYaTs RK. – Pavlodar: TOO «Dom pečhati», 2011. – Issue 3.: Sb. tr. Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan za 2010 g. – T. 2. – P. 161–232. – Bibliogr.: p. 230–231.
21. RBP 036 «Razvitie atomnykh i energeticheskikh proektov» podprogramma 101 «Obespechenie radiatsionnoy bezopasnosti na territorii Respubliki Kazakhstan», mero-priyatie 1 «Obespechenie bezopasnosti byvshego Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona»: otchet NTP za 2017 g. (informats.)/ filial «Institut radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii» RGP NYaTs RK; ruk. Lukashenko S.N.; ruk. rabot Stril'chuk Yu.G. – Kurchatov, 2017. – 95 p. – Bibliogr.: p. 94–95; 35 nazv. – Inv. No. o-1246.

СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫНЫҢ «ЛАЗУРИТ» ОБЪЕКТИСІНДЕГІ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫН ЖӘНЕ ОНДАҒЫ ТРИТИЙ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

**Н.В. Ларионова¹⁾, П.Е. Кривицкий¹⁾, Б.М. Сұлтанова²⁾, В.В. Полевик³⁾, Л.В. Тимонова¹⁾, С.Б. Субботин¹⁾,
Л.Ф. Субботина¹⁾, М.Т. Абишева¹⁾, В.Н. Монаенко¹⁾, А.В. Топорова¹⁾, А.О. Айдарханов¹⁾**

¹⁾ ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Қурчатов, Қазақстан

²⁾ Ботаника және фитоинтродукция институты, Алматы, Қазақстан

³⁾ «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КЕ АҚ, Семей, Қазақстан

Мақалада «Лазурит» объектісінің өсімдік жамылғысының сипаттамасы, оның ішінде тритий радионуклидінің (³H) құрамы: өсімдіктердің бос суында (ТСВ) және олардың органикалық құрамдас бөлігі (ОСТ) келтірілген. Экожүйелердің 5 негізгі түрі анықталды: төмен, биік ұсақ шоқылар, төмен ұсақ шоқылар, делювиалды-пролювиалды және аллювиалды жазықтар. Зерттелетін аумақтағы өсімдік жамылғысындағы ОСТ құрамы болмашы ғана және абсолютті көп жағдайда қолданылатын аппаратуралық-әдістемелік қамтамасыз етуді анықтау шегінен төмен екендігі анықталды. ТСВ және ОСТ белгіленген мөлшерлік мәндері орташа есеппен 6-дан 81 Бк/кг-ға дейін және <10-нан 37 Бк/кг-ға дейін, сәйкесінше, Р-1 ұңғымасының сағалық алаңына жақын максимум (ТСВ – 29000±3000 Бк/кг, ОСТ – 14000±2000 Бк/кг) мәнді құрады. Бұл ретте ОСТ/ТСВ (0,8) қатынасы өсімдіктерге ³H түсудің қазіргі уақыттағы көзінің болуын көрсетеді.

Түйін сөздер: ССП, өсімдік жамылғысы, тритий (³H).

THE STUDY OF THE PLANT COVER AND THE CONTENT OF TRITIUM
AT 'LAZURIT' OBJECT OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE

N.V. Larionova¹⁾, P.Ye. Krivitskiy¹⁾, B.M. Sultanova²⁾, V.V. Polevik³⁾, L.V. Timonova¹⁾, S.B. Subbotin¹⁾,
L.F. Subbotina¹⁾, M.T. Abisheva¹⁾, V.N. Monayenko¹⁾, A.V. Toporova¹⁾, A.O. Aidarkhanov¹⁾

¹⁾ RSE NNC RK Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology", Kurchatov, Kazakhstan

²⁾ Institute of Botany and Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan

³⁾ "Semey University named after Shakarim" NP JSC, Semey, Kazakhstan

The paper presents the characteristics of the plant cover at the 'Lazurit' object including the content of tritium (³H): tissue free water tritium (TFWT) and organically bound tritium (OBT). There were 5 major ecosystem types noted: ecosystems of low-hill terrain, high and low hummocks, deluvial-proluvial and alluvial plains. The content of OBT in the plant cover of the study area was found to be insignificant and, in most cases, below the detection limit of the methodological instrumentation in use. Quantitative values reported for TFWT and OBT average 6 to 81 Bq/kg and <10 to 37 Bq/kg, respectively, with a maximum near the mouth site of borehole R-1 (TFWT – 29,000±3,000 Bq/kg, OBT – 14,000±2,000 Bq/kg). At the same time, the ratio of OBT/ TFWT (0.8) points to the presence of a recent source of ³H entry into plants.

Keywords: STS, plant cover, tritium (³H).